

실험을 통한 BIPV/T 시스템 성능분석 -1. PV 발전효율

이현주*, 조혜진**

*전력연구원 선임연구원(lhj8865@kepco.co.kr),

**전력연구원, 연구원(119927525@kepco.co.kr)

Performance Analysis of the BIPV / T system by the performance Test- Part1. PV efficiency

Lee, Hyeon-Ju*, Jo, Hye-Jin**

*Senior Researcher, KEPSCO Research Institute(lhj8865@kepco.co.kr),

**Researcher, KEPSCO Research Institute(119927525@kepco.co.kr)

Abstract

BIPV/T (Building Intergrated PhotoVoltaic/Thermal) is combined system produces electricity and thermal energy. The heat from PV modules should be removed for better electrical performance, and can be converted into useful thermal energy. The efficiency of the PV system's performance will raise by the system removes heat from the PV.

The test system is installed to top floor of the experimental house in the KEPSCO Research Institute. The planned experiment is following.

- ① Supplying heat energy to top floor.
- ② Supplying heat and cool energy to thermal storage in the bottom of the top floor.
- ③ Supplying heat energy to EHP for improved performance

The experimental performance is executed from 13th February to 13th March, 2012. The solar generation of electricity is 4.04kWh under the horizontal solar radiation is 1000W/m² and the air temperature is 25℃

Keywords : 건물통합형 태양광열 발전시스템(BIPV/T, Building Intergrated PhotoVoltaic/Thermal), 전기 발전량 (solar generation of electricity)

기 호 설 명

SMP : Silicon modified polyester

1. 서 론

1.1 연구배경

서구 선진 유럽에서는 에너지의 사용억제

및 환경 친화적 건물에 대한 요구의 일환으로 태양에너지를 활용한 건물의 에너지 공급 시스템에 대한 개발·보급이 활발하나, 국내 PV 시스템은 기대 성능 대비 투자회수가 미진하여 보완이 요구되고 있는 실정이다. 이러한 점을 고려하여 전력생산 및 열생산이 동시에 이루어지며, PV 모듈 후면 온도 저감에 의한 발전효율 상승을 동시에 이룰 수 있는 BIPV/T시스템에 대한 연구를 위해 시스템을 설치하였다.

1.2 연구동향

국내의 경우 2000~2002년 한국태양에너지학회 논문집에 수록된 태양에너지 관련 논문을 살펴보면, 총 99건의 논문 중 자연형 태양열(태양에너지 건물 적용)에 관한 논문은 13개로 전체 논문의 약 13% 임을 알 수 있다. 따라서 전체 국내 태양관련 논문 중 BIPV/T 시스템이 차지하는 비중은 극히 적다고 할 수 있다.

국외에서 BIPV/T 시스템은 이미 30년 전부터 연구개발 되어 왔으며, 최초로 Kern과 Russel(1978)에 의해 BIPV의 지붕이나 벽면의 열을 제거하는 것으로, 공기 또는 물을 사용하는 방법에 대한 연구가 시작되었다. 또한, Hendrie(1979)는 통풍되는 태양열 집열기 기술을 이용해 BIPV/T 시스템의 이론 모델을 제시하였고, Raghuraman(1981)은 공기, 수식 BIPV/T 집열기의 성능을 예측하는 수치해석 모델을 제안하였다. 2000년 이후에는 PV가 결합된 Solar air 시스템들이 많은 연구자들에 의해 개발되었는데, 특히 Zakharchenko는 PV cell과 Solar Collector이 결합된 모델을 제안하였는데, 이 시스템은 PV 후면에 흡수판을 부착하여 열을 보다 적극적으로 이용하는 최적화된 모듈을 지닌 시스템이다.

최근 IEA SHC에서는 BIPV/T 시스템에 대한 국제 공동 연구조직(TASK35)이 구성되어 상용화 방안에 대한 연구가 계속적으로 이루어지고 있는 실정이다.

1.3 연구 진행 방향

BIPV/T시스템은 시스템은 크게 공기식, 액체식으로 구분할 수 있으며, 공기식의 경우 건물에 완전히 통합된 형태로 적용되어 2중 구조의 외피를 통해 공기를 집열하는 방식과, Solar Wall 패널위에 PV 모듈을 부착하여 공기를 집열하는 방식의 2가지가 있다.

이중 설치가 용이하며 시스템 구성이 단순한, Solar Wall 패널 위 PV 모듈을 부착 시스템을 전력연구원의 시험주택 옥탑층 상부에 설치하여 그 성능 및 효과를 실험·분석하고 있다. 이러한 실험을 통하여 태양전지의 발전효율 향상 및 태양열 공기난방 성능평가를 수행하며, 향후 빌딩 적용기술로서의 타당성 및 국내외 사업화 방안에 대하여 연구하고자 하였다.

BIPV 시스템에서 획득되는 열에너지를 이용한 실험계획은 다음과 같다.

- ① 옥상층 사무실에 BIPV/T 시스템 열을 이용한 난방공급
- ② BIPV/T 시스템을 이용한 옥상층 창고의 구조체 축열·축냉
- ③ 공기열 히트펌프 성능향상을 위한 BIPV/T 시스템 열원이용

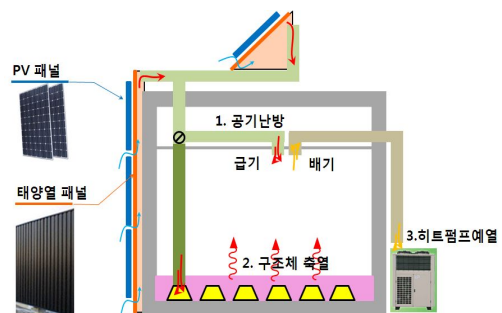


그림 1. BIPV/T 시스템 구성도

2. 시스템 설치

2.1 시스템 설치개요

(1) 태양열 집열기

태양열 집열기는 Conserval Eng.사의 벽체

에 설치된 일반형 태양열 집열기 및 지붕에 설치된 덕트형 태양열 집열기로 구분되며, 아연도강판 재질로 흡수율이 가장 좋은 검은색 세라믹 도장된 SMP로 코팅되어 있다. 표면에 2500개/m² 이상의 기공을 통하여 집열관 내로 공기를 흡수하게 되며, 이때 열교환을 통하여 효율적으로 열을 시스템으로 유입할 수 있다.

표 1. 패널 주요 색상별 흡수율

색	흡수율
Black	0.95
Dark Green	0.91
Royal Blue	0.78
Charcoal	0.72
Bright Red	0.67
Bone White	0.52



그림 2. 태양열 집열기 (좌)벽체형 (우)덕트형

(2) 태양광 패널

태양광 패널은 모듈 냉각 효율, 에너지 생산 효율 뿐 아니라, 향후 사업화를 고려하여 국산 PV 모듈 중 상용화·보급화된 모델을 선정하였다.

태양광 패널의 크기는 1.474m×0.974m이며 두께는 35mm이며, 외기온 25℃, 일사량 1000W/m²에서의 전기적 특성은 다음 표와 같다.

표 2. 태양광 패널의 전기적 특성

Peak Power [W _p] (± 3%)	200
Peak Power Voltage [V _{mpp}]	27
Peak Power Current [I _{mpp}]	7.4
Open Circuit Voltage [V _{oc}]	32.8
Short Circuit Current [I _{sc}]	7.99
Module Efficiency [η _m]	13.9

(3) 구조체 축열 슬래브

향후 BIPV/T 시스템의 가열공기(난방기) 또는 냉각공기(냉방기)를 이용하여 구조체 축열성능을 알아보기 위하여 옥탑방 하부에 구조체 축열매스를 설치하였다.

그 단면은 그림 6에서 볼 수 있으며, 최하단에 타설로 부터의 열전도 및 축열시 열손실을 방지하기 위하여 단열재를 설치한 후 통풍구를 형성하기 위하여 스틸데크 위 콘크리트를 타설하였다. 이때 단열재와 스틸데크 사이에 열획득을 용이하게 하기 위하여 메탈메쉬를 설치하였다.

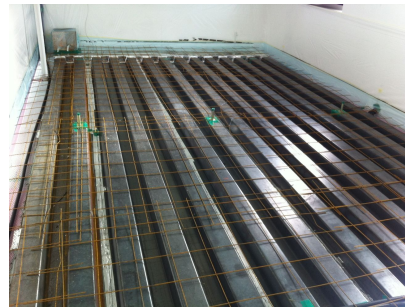


그림 3. 구조체 축열체 설치 시공사진

2.2. 시스템 설치규모

시스템의 전체 설치규모는 총 48.4m²으로 벽면 22m², 옥상 26.4m²이다. 전체 규모의 시스템으로 전기발전용량은 약 4.0kWh, 열 생산량을 약 4.2kW를 기대할 수 있으며 자세한 내용은 아래 표와 같다. 이때 태양열 생산량은 평균일사량 600W/m², 시스템 풍량 20CMH/m² 기준이며, 태양광 발전량은 25℃에서 평균일사량 1,000W/m² 기준이다.

표 3. 시스템 설치규모 및 에너지 생산량

설치장소	태양열		태양광	
	면적 [m ²]	생산열량 [kW]	면적 [m ²]	생산전기량 [kWh]
벽체	22.0	1.80	12.9	1.64
지붕	26.4	2.37	17.2	2.4
계	48.4	4.17	30.1	4.04

BIPV/T 시스템의 설치전경 및 성능·효율을 측정하기 위한 센서설치도는 그림4~6에서 볼 수 있다.



그림 4. BIPV/T 설치사진

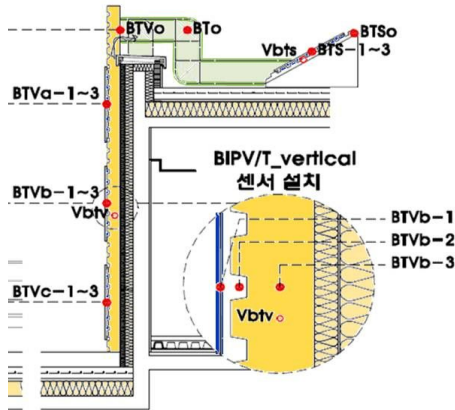


그림 5. 시스템 센서설치 단면도

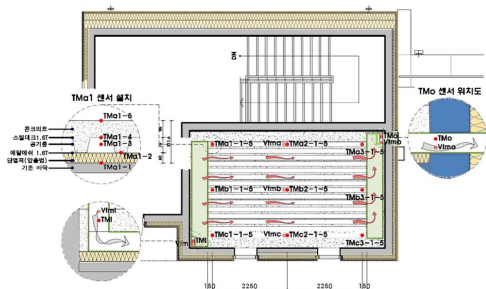


그림 6. 구조체 축열 센서설치도

3. PV 발전효율

BIPV/T 시스템의 발전량 및 발전 효율을

알아보기 위하여 2월 13일~3월 13일까지 시스템 풍량을 변화하여 실험하였으며, 이때 시스템 내 PV 발전량과 그 효율은 다음과 같다.

3.1 시스템 풍량 변화에 의한 PV 발전량

PV 발전량은 수평면 일사량이 증가할 수록 선형으로 비례하여 증가하며, 풍량에 관계없이 상승폭이 유사하였다. 실험기간 중 최대 일사량은 0CMH/m²일 때, 811W/m²이었으며 PV 발전량은 외기온 -0.4℃ 조건하에서 약 3.4kWh였다. 이때 상관식을 통한 수평면 일사량이 1000W/m²일 때의 PV 발전량을 추정할 결과 약 4.1kWh로 설계기준(4.0kWh)과 오차범위가 2.5% 내외이므로 유사한 것을 알 수 있다.

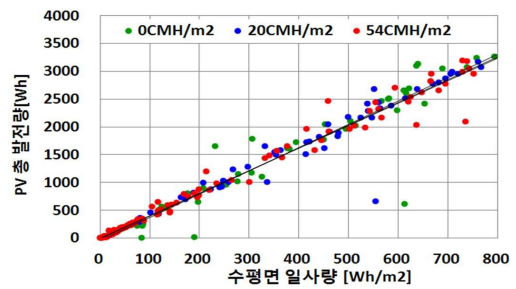


그림 7. 시스템 풍량별 PV 발전량

3.2 시스템 풍량 변화에 의한 PV 발전효율

실측결과 PV 발전효율은 수평면 일사량의 증가에 따라 로그형태로 증가하고 있었으나, 일사량이 약한 오전 및 오후의 데이터를 제외한다면 대부분 13%~15% 사이에 데이터가 분포하고 있다.

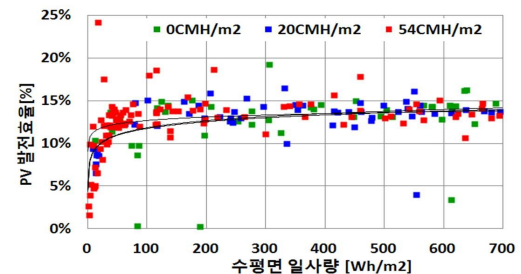


그림 8. 일사량 변화에 대한 PV발전효율

정확한 추세를 알아보기 위하여 평균값과 오차가 큰 데이터 및 일사량이 약한 100w/m²이하의 데이터를 삭제한 결과 시스템 풍량별 PV 발전효율은 다음과 같은 수식으로 정의되었다.

$$E_{pv-0} = 0.0095 \times \ln(Rad) + 0.071 \dots\dots(1)$$

$$E_{pv-20} = 0.0146 \times \ln(Rad) + 0.045 \dots\dots(2)$$

$$E_{pv-54} = 0.0177 \times \ln(Rad) + 0.0441 \dots\dots(3)$$

동일 일사량 내에서 풍량이 증가 할수록 발전효율이 증가하는 경향을 보이며, 이는 시스템 유입 풍량 증가시 PV 모듈 후면의 열 제거량이 많아져 효율이 증가하는 것으로 여겨진다.

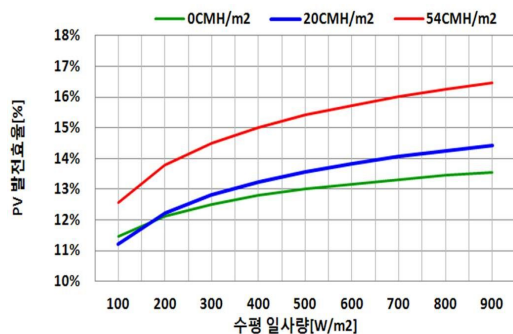


그림 9. 시스템 풍량별 PV발전효율

시스템 풍량 20CMH/m²인 경우 시스템 미가동시보다 효율이 약 -0.3~0.8%(효율 증가율 -2.2%~6.0%) 증가하였으며 평균 효율은 0.4% 증가(효율 증가율 6.2%)하였다. 또한, 시스템 풍량 54CMH/m²인 경우 시스템 미가동시보다 효율이 약 1.3~2.0%(효율 증가율 9.5%~20.8%) 증가하였으며 평균 효율은 2.2% 증가(효율 증가율 16.9%)하였다.

4. 결론

전력 및 열의 동시생산이 가능한 효과적인 태양열 시스템인 BIPV/T 시스템을 설

치한 후 그 효과를 알아보기 위하여 실험을 수행하였다.

- (1) Solar Wall에 PV 부착형 BIPV/T 시스템을 통하여 전기발전용량은 약 4.0kWh, 열 생산량을 약 4.2kW를 기대할 수 있으며, 옥상층 사무실 난방공급, 구조체 축열·축냉, 히트펌프 성능향상을 위한 공급을 수행할 예정이다.
- (2) 수평면 일사량이 증가할 수록 PV 발전량은 선형으로 증가하며, 수평면 일사량이 1000W/m²일 때 PV 추정 발전량은 약 4.1kWh로 설계기준을 상회하여, 일사조건이 좋은 날은 설계기준 이상의 발전을 기대할 수 있다.
- (3) 동일 일사량 내에서 풍량이 증가 할수록 발전효율이 증가하고 있으며, 시스템 풍량 20CMH/m²인 경우 미가동시보다 평균 PV 발전효율이 약 0.4%(효율 증가율 6.2%)증가하였으며, 50CMH/m²인 경우 미가동시보다 평균 PV 발전효율이 약 2.2%(효율 증가율 16.9%)증가하였다.

후 기

본 연구는 전력연구원 내 설치된 BIPV/T 시스템의 설치 및 동절기 후반 실험 기간 중 PV 발전효율에 대한 결과로서, 향후 연간 성능실험 및 데이터 추가 획득을 통하여 다각적인 방안에서 PV 발전량 및 효율을 분석할 계획이다.

참 고 문 헌

1. 김진희 외, 태양광열 복합 시스템의 연구 개발 동향 분석, 대한건축학회지회연합회 학술발표대회논문집, n2006 v.01, 2006.1
2. 이의준 외, 태양열-전기 cogeneration panel 개발 선행연구, 2006. 05, 산업자원부
3. 이의준 외, 태양열광복합 활용 열·전기

- 동시생산 설비기술 현황과 전망, 설비/공
조. · 냉동 · 위생 2006년 1월호, pp57-63
4. 조일식 외, 다기능 복합 솔라월 시스템
개발. 한국과학재단 기초연구사업, 2010.04
 5. 이의준, 에너지 절약형 건물에너지 해석
을 위한 설계 요건, 설비저널 제32권 제
8호, pp41-45
 6. Yuxiang Chen. et al. Modeling, design
and thermal performance of a BIPV/T
system thermally coupled with a ventilated
concrete slab in a low energy solar
house : Part 2, ventilated concrete slab,
Solar energy 84, 2010, pp.1908-1919